

---

# P87, Implantação de sistema de recuperação de energia em forno cadinho de fusão de zinco.

Renato Vergnhanini Filho

COMGÁS - Companhia de Gás de São Paulo  
IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica – Laboratório de Engenharia Térmica

**Resumo** – Na área de concessão da Comgás, várias empresas relativamente pequenas produzem óxido de zinco através de processo industrial no qual o gás natural (GN) é o insumo energético principal. A parte principal do processo é aquela em que lingotes de zinco são fundidos em forno do tipo cadinho. Os gases de combustão efluentes do forno são descarregados sem qualquer recuperação de energia na atmosfera por meio de uma chaminé. Algumas possibilidades para a recuperação dessa energia não aproveitada podem ser vislumbradas, mas a principal delas é o pré-aquecimento do ar de combustão. Dentro desse contexto, foi implantado um sistema de pré-aquecimento do ar de combustão do forno 3 da empresa Brazinco visando a redução no consumo de gás natural. O sistema de pré-aquecimento teve um custo de R\$ 112.000,00 (02/2013) e resultou na temperatura de 370 °C do ar admitido ao forno, o que levou a redução de 28 % no consumo de gás natural, que representa economia de R\$ 5.800,00 / mês (02/2013) para a empresa.

Palavras-chave: combustão de gás natural; recuperação de calor; rendimento térmico; trocador de calor; pré-aquecimento do ar de combustão

## Introdução - Objetivo do projeto

A realização do projeto “Recuperação de calor dos gases da chaminé dos fornos de cadinho de fusão de zinco para pré-aquecimento de ar de combustão”, inserido no “Programa Anual de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico e de Conservação e Racionalização do Uso do Gás Natural no Estado de São Paulo” (projeto 58, ciclo 2008/2009), resultou no dimensionamento de um trocador de calor para ser instalado na chaminé de um dos fornos da empresa Brazinco Indústria de Pigmentos Ltda. com o objetivo de pré-aquecer o ar de combustão visando a redução no consumo de gás natural.

O objetivo deste projeto foi dar continuidade ao projeto anterior, realizando a implantação do trocador num dos fornos da Brazinco e verificar a economia de gás natural obtida.

## Desenvolvimento

O trabalho foi desenvolvido através da realização de um conjunto de atividades apresentadas a seguir.

### Seleção de empresa para o fornecimento do sistema de pré-aquecimento de ar e definição do próprio sistema

O pré-aquecedor de ar escolhido na realização do projeto anterior foi o do tipo de transferência de calor por radiação, com as correntes fluidas em fluxo paralelo. O trocador de calor de radiação é basicamente constituído por dois tubos concêntricos: pelo tubo central

circulam os gases de combustão e pelo espaço formado entre os dois tubos, o ar de combustão. Para o dimensionamento do trocador foi elaborado modelo matemático, chegando-se as seguintes dimensões principais: comprimento do trocador = 6 m, diâmetro nominal do tubo interno de passagem dos gases = 12”, vão de passagem (área anular) da camisa de ar = 8 mm e espessura de isolamento do trocador = 3”.

Porém, na consulta às empresas para o fornecimento do equipamento, os critérios preço e tipo de trocador de calor levaram a escolha de um tipo diferente do projetado.

O trocador de calor escolhido, ofertado pela empresa Rayburners Ltda., é do tipo de convecção de duplo tubo aletado. O tubo é formado por anéis que são justapostos para obtenção da área de transferência de calor desejada. Essa configuração pode ser considerada inovadora, pois permite que o desempenho do equipamento seja aumentado com relativa facilidade pela inserção de anéis adicionais. O trocador que havia sido projetado pelo IPT, do tipo de transferência de calor por radiação, não possui tal característica. A Rayburners utilizou parâmetros não divulgados para dimensionamento do trocador de calor, no entanto a empresa garantiu a mesma performance que a do equipamento concebido pelo IPT.

Além do trocador, o sistema de pré-aquecimento de ar proposto pela Rayburners consiste, basicamente, de: sistema de ejeção de gases de combustão, ventilador de ar de

combustão e queimador, para substituir os existentes, indicadores de temperatura e pressão, painel de controle, e dutos e componentes de tubulação. A Figura 1 mostra o fluxograma do trocador de calor apresentado pela Rayburners.

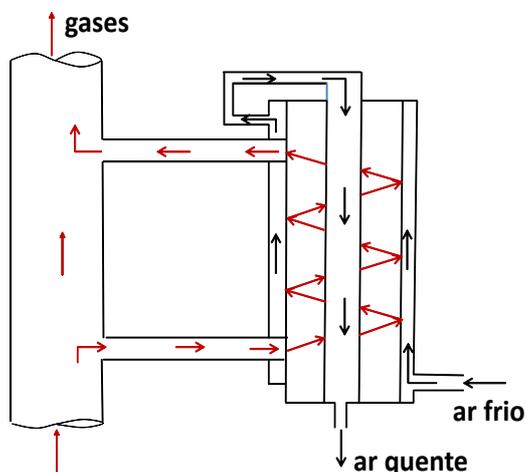


Figura 1 – Desenho esquemático do trocador

#### Acompanhamento da construção do trocador

Durante a construção do trocador de calor foram realizadas várias visitas a Rayburners. A Figura 2 mostra fotos do equipamento nas dependências da Rayburners.



anéis do trocador

interior do trocador

Figura 2 – Trocador de calor na Rayburners

#### Acompanhamento da montagem do trocador

Foi acompanhada a montagem do trocador de calor ao lado da chaminé do forno 3 da Brazinco. Um conjunto de válvulas de acionamento manual possibilita a operação do forno com e sem ar pré-aquecido, ou seja, com os gases de combustão passando pelo trocador

ou saindo diretamente pela chaminé. A Figura 3 mostra foto do equipamento instalado.



Figura 3 – Forno com pré-aquecedor instalado

#### Acompanhamento da partida do trocador

Foi acompanhada a partida do sistema de pré-aquecimento de ar na Brazinco. Foram observados vários problemas que foram sendo gradualmente resolvidos pela Rayburners, implicando algumas vezes no retorno do trocador a fábrica para alteração ou acréscimo de componentes e testes de estanqueidade.

#### Ensaio do forno 3 com o trocador instalado

Foram realizadas medições no forno 3 da Brazinco para a verificação da redução obtida no consumo de gás natural devido ao pré-aquecimento do ar de combustão

Uma sonda de amostragem, refrigerada a água, foi instalada na chaminé da fornalha. Os gases seguem da sonda para o Laboratório móvel do IPT (Figura 4).



Figura 4 – Laboratório móvel do IPT na Brazinco

No Laboratório foram montados sistemas de sucção e condicionamento de amostra; análise contínua de gases ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $NO$  e  $CO$ ) e sistema de aquisição e visualização de dados, que recebia sinais elétricos dos analisadores e do painel de controle do forno (um conjunto de fios foi estendido ligando o painel ao Laboratório), permitindo o registro e acompanhamento das temperaturas de entrada e saída dos gases do trocador (" $T_2$ " e " $T_1$ "), de saída do ar do trocador (" $T_3$ ") e do interior da fornalha (" $T_4$ "). Foram

registrados, manualmente, o volume de gás natural alimentado ao forno e a quantidade de zinco processada.

Antes do ensaio propriamente, buscou-se ajustar a relação ar - gás natural do forno de forma a se obter o menor teor de  $O_2$  dos gases (ou seja, o menor excesso de ar) sem a presença de  $CO$ , que é um indicativo da qualidade da combustão.

O ensaio teve a duração aproximada de 30 horas (cinco ciclos de operação do forno) e foram obtidos os seguintes valores médios:

$T_1$ : 306 °C       $T_2$ : 837 °C       $T_3$ : 370 °C  
 $T_4$ : 1.065 °C       $O_2$ : 0,8 %       $CO_2$ : 10,8 %  
 $NO$ : 169 ppm       $CO$ : ~ zero

A Figura 5 mostra o conjunto forno-trocador destacando os principais valores medidos.

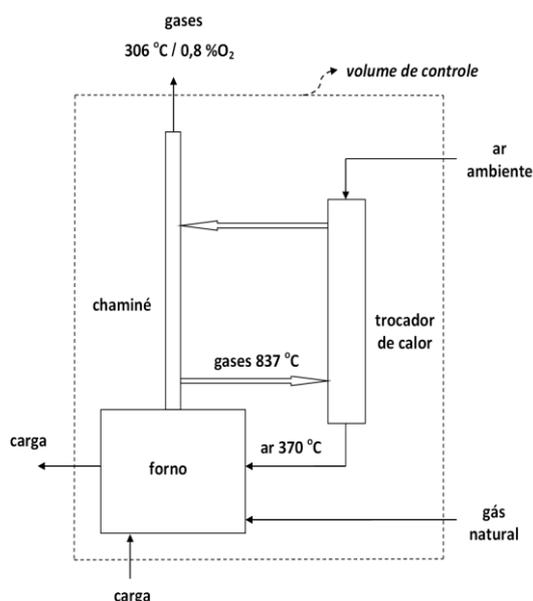


Figura 5 – Conjunto forno-trocador

No período de ensaio, 2.610 kg de zinco foram alimentados ao forno 3, produzidos 2.991 kg de óxido de zinco e consumidos 403,9 m<sup>3</sup> de gás natural, indicando um consumo específico de 0,155 m<sup>3</sup> de gás por kg de zinco. Este consumo é aproximadamente 28 % inferior ao do forno antes da instalação do pré-aquecedor de ar, que era de 0,215 m<sup>3</sup> de gás natural por kg de zinco.

A redução obtida no consumo de gás natural pode ser atribuída a dois fatores: a operação do forno cadinho de fusão zinco com menor excesso de ar - de 10 para 3,6 % (teor de  $O_2$  dos gases de 2,1 para 0,8 %) e, sobretudo, ao pré-aquecimento do ar de combustão - de 25 para 370 °C.

## Resultados obtidos e conclusões

A instalação do pré-aquecedor no forno 3 da Brazinco somada ao ajuste realizado da relação ar - combustível do queimador resultou na redução de 28 % no consumo de gás natural.

A atratividade financeira da medida pode ser avaliada considerando o preço de implantação do sistema - R\$ 112.000,00 e a economia obtida no consumo de gás - R\$ 5.800,00 / mês (todos os valores referidos a 02/2013).

## Referências

- Incropera, F. P. et al. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643 p.
- Kern, D. Q. Processos de Transmissão de Calor. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S. A., 1980. 671 p.
- Kreith, F.; Bohn, M. S. Princípios de Transferência de Calor. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 623 p.